

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.



Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

	DE3413605	Biblio	Desc	Claims	Page 1	Drawing	
---	------------------	------------------------	----------------------	------------------------	------------------------	-------------------------	---

Optical method for measuring the profile of surfaces with a locally strongly fluctuating reflection factor

Patent Number: DE3413605 —
Publication date: 1985-10-17
Inventor(s): PAUL DETLEF DR ING (DE)
Applicant(s):: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)
Requested Patent: ☒ DE3413605
Application Number: DE19843413605 19840411
Priority Number(s): DE19843413605 19840411
IPC Classification: G01B11/24
EC Classification: G01B11/24F
Equivalents:

Abstract

In the measurement of the profile of surfaces with the aid of the method of light sections, the determination of the position of light/dark transitions of the projected structure (grating, slit, web, half plane) is impaired by local fluctuations in the reflection factor of the surface. According to the invention, the same optical observation system is used to measure in temporal sequence the local distribution of the reflection factor and the brightness distribution of the surface caused by the projected structure, and to calculate the bright/dark transitions from the two measurements. The projection is performed using a specular structure which is vapour-deposited on a transparent support and is illuminated by a light source via two beam paths from the front or from the rear, at 45 DEG in each case. One of the illuminating beam paths is interrupted periodically in time by an interruptor device (sector stop). When the interruptor device is open, the surface is uniformly illuminated and the reflection factor is determined in this case. When the interruptor device is closed, the vapour-deposited structure is imaged on the surface; the brightness distribution measured in this case is evaluated with the aid of the previously measured variation in the reflection factor in a connected signal processing device.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

THIS PAGE BLANK (USPTO)



DEUTSCHES
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 34 13 605.3
②2 Anmeldetag: 11. 4. 84
④3 Offenlegungstag: 17. 10. 85

DE 3413605 A1

⑦1 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 8000 München, DE

⑦2 Erfinder:
Paul, Detlef, Dr.-Ing., 7513 Stutensee, DE

Erfindereigentum

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Optisches Verfahren zur Messung des Profils von Oberflächen mit örtlich stark schwankendem Reflexionsfaktor

Bei der Messung des Profils von Oberflächen mit Hilfe des Lichtschnittverfahrens wird die Bestimmung der Position von Hell-Dunkel-Übergängen der projizierten Struktur (Gitter, Schlitz, Steg, Halbebene) durch örtliche Schwankungen des Reflexionsfaktors der Oberfläche beeinträchtigt. Erfindungsgemäß werden zeitlich nacheinander mit dem gleichen optischen Beobachtungssystem die örtliche Verteilung des Reflexionsfaktors und die von der projizierten Struktur verursachte Helligkeitsverteilung der Oberfläche gemessen und aus beiden Messungen die Hell-Dunkel-Übergänge berechnet. Die Projektion erfolgt unter Verwendung einer auf einem transparenten Träger aufgedampften spiegelnden Struktur, die von einer Lichtquelle über zwei Strahlengänge von vorn oder von hinten, jeweils unter 45°, beleuchtet wird. Einer der Beleuchtungsstrahlengänge wird durch eine Unterbrechereinrichtung (Sektorenblende) zeitlich periodisch unterbrochen. Bei geöffneter Unterbrechereinrichtung wird die Oberfläche gleichförmig beleuchtet und dabei der Reflexionsfaktor bestimmt. Bei geschlossener Unterbrechereinrichtung wird die aufgedampfte Struktur auf der Oberfläche abgebildet; die dabei gemessene Helligkeitsverteilung wird mit Hilfe des zuvor gemessenen Verlaufs des Reflexionsfaktors in einer angeschlossenen Signalverarbeitungseinrichtung ausgewertet.

DE 3413605 A1

Ansprüche

1. Optisches Verfahren zur Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper, insbesondere des Profils von Oberflächen, nach dem Lichtschnittverfahren unter Verwendung

- einer scharfbegrenzten, kontrastreichen Beleuchtung, erzeugt durch Abbildung einer kontrastreichen Struktur, vorzugsweise in Form periodischer Streifen, eines Schlitzes oder einer Halbebene, auf die Oberfläche des Körpers,
- einer Bildaufnahmeeinrichtung mit einer von der Beleuchtungsrichtung verschiedenen, z.B. zu ihr senkrechten Beobachtungsrichtung,
- einer elektronischen Signalauswerteeinrichtung zur Ermittlung der räumlichen Form des beobachteten Körpers aus der Position der auf seiner Oberfläche gemessenen Hell-Dunkel-Übergänge,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die kontrastreiche Struktur als spiegelnde Struktur auf einem transparenten Träger aufgebracht ist,
- der Träger durch zwei Beleuchtungssysteme, die vorzugsweise eine gemeinsame Lichtquelle besitzen, von vorne und von hinten in der Weise beleuchtet wird, daß das an der Struktur gespiegelte Licht die gleiche Richtung besitzt wie das an den von der Struktur freigelassenen Stellen von hinten hindurchtretende Licht,
- optische Mittel zur Angleichung der Helligkeit der beiden Beleuchtungssysteme vorgesehen sind,

- eine zeitlich periodische Unterbrechereinrichtung, beispielsweise eine Sektorenblende, eines der beiden Beleuchtungssysteme periodisch unterbricht,
- die Bildaufnahmeeinrichtung während des geöffneten Zustandes der Unterbrechereinrichtung die Helligkeitsverteilung auf der Oberfläche des Körpers als Maß für die örtliche Verteilung seines Reflexionsfaktors mißt,
- die Bildaufnahmeeinrichtung während des geschlossenen Zustandes der Unterbrechereinrichtung die durch die Struktur erzeugte und durch den Reflexionsfaktor der Oberfläche modulierte Helligkeitsverteilung mißt,
- die Signalauswerteeinrichtung mit den beiden nacheinander gemessenen Helligkeitsverteilungen den Einfluß des Reflexionsfaktors bei der Bestimmung der Position der Hell-Dunkel-Übergänge beseitigt und aus den so ermittelten Hell-Dunkel-Übergängen in bekannter Weise die räumliche Form des beobachteten Körpers ermittelt.

2. Optisches Verfahren zur Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß

- in der Signalauswerteeinrichtung als Apparatekonstante ein Faktor gespeichert wird, der sich aus dem Maximum g_1 und dem Minimum g_0 der Helligkeit der Beleuchtung bei geschlossener Unterbrechereinrichtung nach der Beziehung $(g_1 + g_0) / 2g_1$ ergibt,
- die bei geöffneter Unterbrechereinrichtung gemessene Helligkeitsverteilung mit diesem Faktor mul-

tipliziert wird und

- diejenigen Stellen als Hell-Dunkel-Übergänge ermittelt werden, bei denen das so gebildete Produkt den gleichen Wert besitzt wie die bei geschlossener Unterbrechereinrichtung gemessene Helligkeitsverteilung.

3. Optisches Verfahren zur Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper nach Anspruch 1 und 2,

dadurch gekennzeichnet, daß

in der Signalauswerteeinrichtung die bei geschlossener Unterbrechereinrichtung gemessene Helligkeitsverteilung durch die bei geöffneter Unterbrechereinrichtung gemessene Helligkeitsverteilung dividiert wird und als Hell-Dunkel-Übergänge diejenigen Stellen ermittelt werden, bei denen der gebildete Quotient einen Schwellwert $(g_1 + g_0)/2g_1$ über- oder unterschreitet.

4. Optisches Verfahren zur Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper nach den Ansprüchen 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, daß

- bei Verwendung einer aus parallelen Gitterlinien bestehenden Struktur eine Diodenzeile als Bildaufnahmeeinrichtung eingesetzt wird, die senkrecht zu den Gitterlinien angeordnet ist,
- der zu messende Körper und die Meßeinrichtung gegeneinander in Richtung der Gitterlinien bewegt werden, und

- die Messung des Oberflächenprofils entlang einer Geraden senkrecht zur Bewegungsrichtung so schnell wiederholt wird, daß die gesamte Oberfläche durch aneinander anschließende Profile vollständig erfaßt wird.

5. Optisches Verfahren zur Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper nach den Ansprüchen 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, daß

- bei Verwendung einer aus einer Halbebene bestehenden Struktur ein zweidimensionaler Wandler, z.B. eine Fernsehkamera oder ein Diodenarray, als Bildaufnahmeeinrichtung eingesetzt wird, deren Zeilen vorzugsweise senkrecht zur Kante der Halbebene liegen,
- der zu messende Körper und die Meßeinrichtung gegeneinander senkrecht zur Kante der Halbebene bewegt werden, und
- die Messung des Oberflächenprofils parallel zur Kante der Halbebene so schnell wiederholt wird, daß die gesamte Oberfläche durch aneinander anschließende Profile vollständig erfaßt wird.

6. Optisches Verfahren zur Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper nach den Ansprüchen 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet, daß

bei gegenseitiger Bewegung von Meßeinrichtung und Körper nach den Ansprüchen 4 und 5 in der Signalauswertung

einrichtung der Mittelwert aus zwei aufeinanderfolgenden Messung n bei geöffneter Unterbrechereinrichtung gebildet wird und dieser Mittelwert mit der dazwischenliegenden Messung bei geschlossener Unterbrechereinrichtung gemäß Anspruch 2 und 3 zur Unterdrückung des Einflusses von Schwankungen des Reflexionsfaktors verwendet wird.

7. Optisches Verfahren zur Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper nach den Ansprüchen 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß

als Bildaufnahmeeinrichtung eine Diodenzeile verwendet wird, deren Einzeldioden senkrecht zur Diodenzeile eine größere Ausdehnung besitzen wie in Richtung der Diodenzeile, und daß die Meßfelder bei zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen bei geöffneter und geschlossener Unterbrechereinrichtung sich auch bei schnellerer gegenseitiger Bewegung von Meßeinrichtung und Körper noch teilweise überdecken.

**Optisches Verfahren zur Messung des Profils von
Oberflächen mit örtlich stark schwankendem
Reflexionsfaktor**

Die Erfindung betrifft ein inkohärent-optisches Verfahren zur berührungsfreien, automatischen Messung der räumlichen Form und Lage dreidimensionaler Körper, insbesondere des Profils von Oberflächen. Es verwendet eine scharfbegrenzte, kontrastreich strukturierte Beleuchtung, vorzugsweise erzeugt durch Abbildung periodischer Streifen, eines Schlitzes bzw. Steges oder einer Halbebene; die Oberfläche wird unter einer von der Beleuchtungsrichtung verschiedenen, z.B. zu ihr senkrechten Richtung durch ein bildaufnehmendes System beobachtet (Lichtschnittverfahren). Die berührungslose Messung der Form und Lage von Körpern ist eine wichtige Aufgabe bei der Handhabung von Werkstücken mit Industrierobotern; das Profil von Oberflächen wird häufig bei der Qualitätsprüfung erfaßt. Zu handhabende oder zu prüfende Werkstücke weisen aufgrund von Verschmutzung, Oxydation, Ölresten oder Fertigungseinflüssen nicht gleichförmig reflektierende Oberflächen auf; dadurch wird die Genauigkeit und Zuverlässigkeit optischer Meßverfahren stark beeinträchtigt. Die Erfindung ermöglicht die Anwendung des an sich bekannten Lichtschnittverfahrens auch bei örtlich stark schwankenden Reflexionsfaktoren der beobachteten Oberflächen.

In der deutschen Auslegeschrift 24 33 872 B2 wird zur Sichtbarmachung des Oberflächenzustandes eines dreidimensionalen Körpers eine Beleuchtung mit einem Raster aus parallelen, äquidistanten Streifen verwendet und eine Fernsehkamera zur Auswertung und Darstellung des Bildes eingesetzt. Das deutsche Patent 27 11 660 C3 betrifft ein optisches Verfahren zur Schweißbahnverfolgung mit einem Lichtschnittverfahren. In beiden Vorschlägen werden keine Maßnahmen gegen örtliche Schwankungen des Reflexionsfaktors getroffen, so daß bei ihrer Anwendung in der Praxis bei stark schwankenden Reflexionsfaktoren ernsthafte

Schwierigkeiten auftreten können. Die Veröffentlichung von Gilbert B. Porter III und Joseph L. Mundy: A Non-contact Profil Sensing System for Visual Inspection, Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng., Vol.336, 67-76 (1982), beschreibt ein Lichtschnittverfahren, bei dem der Einfluß des schwankenden Reflexionsfaktors durch Verwendung von zweifarbigem Licht beseitigt werden soll. Auf die zu prüfende Oberfläche wird ein Streifenmuster abgebildet, bei dem jeder Streifen die gleiche Gesamtintensität, jedoch einen unterschiedlichen Anteil der beiden Farbkomponenten besitzt. Die Beobachtung geschieht mit je einem optischen Sensor für beide Farbkomponenten, die auf die gleiche Stelle der Oberfläche ausgerichtet sind. Die Auswertung der von diesen Sensoren abgegebenen Signale erfolgt aufgrund theoretischer Überlegungen in der Weise, daß sich Einflüsse unterschiedlicher Reflexionsverfahren aufheben. Abgesehen vom Aufwand für die Realisierung der zweifarbigem Beleuchtung erfordert dieses Verfahren hohe Genauigkeit bei der Justage der beiden optischen Sensorsysteme; die theoretisch mögliche Kompensation des Einflusses unterschiedlicher Reflexionsfaktoren kann durch in der Realität auftretende Störungen erheblich beeinträchtigt werden; insbesondere deshalb, weil das Auswerteverfahren eine örtliche Differentiation der Signale erfordert.

Das erfindungsgemäße Verfahren vermeidet die Nachteile der bekanntgewordenen Verfahren durch eine direkte Messung des Reflexionsfaktors und eine einfache rechnerische Berücksichtigung seines Einflusses auf die Messung der Position der Beleuchtungsstruktur auf der Oberfläche. Die Messung des Reflexionsfaktors erfolgt mit demselben optischen System, mit dem die Beleuchtungsstruktur auf der Oberfläche beobachtet wird; dadurch bleibt der zusätzliche Aufwand für Komponenten und Justagemaßnahmen gering.

Erfindungsgemäß trägt ein transparenter Träger eine scharf begrenzte, spiegelnde Struktur, z.B. periodische Streifen, einen Schlitz bzw. einen Steg oder eine geradlinig begrenzte Halbebene. Der Träger wird von zwei gleichartig

aufgebauten, von einer gemeinsamen Lichtquelle ausgehenden Beleuchtungsstrahlengängen von vorne und von hinten jeweils unter 45° so beleuchtet, daß das von vorn einfallende Licht an der aufgetragenen Struktur reflektiert und das von hinten einfallende Licht an den von der Struktur nicht abgedeckten Stellen durchgelassen wird. Einer der beiden Beleuchtungsstrahlengänge wird durch eine Unterbrechereinrichtung, z.B. durch eine umlaufende Sektorenblende, zeitlich periodisch unterbrochen. Eine fehlerarme Optik bildet den so beleuchteten Träger auf die zu erfassende Oberfläche ab.

Ist die Unterbrechereinrichtung geöffnet, erscheint der Träger gleichmäßig hell, die Oberfläche wird also gleichmäßig beleuchtet; einstellbare Blenden in den beiden Beleuchtungsstrahlengängen dienen zum Feinabgleich der Helligkeit des reflektierten und des durchgelassenen Lichtes. Wenn die Unterbrechereinrichtung geschlossen ist, wird die Oberfläche entsprechend der auf dem Träger aufgetragenen Struktur beleuchtet.

In bekannter Weise wird die beleuchtete Oberfläche durch eine zweite fehlerarme Optik auf ein messendes System, z.B. auf eine Diodenzelle oder auf die lichtempfindliche Schicht einer Fernsehkamera mit angeschlossener elektronischer Datenverarbeitung abgebildet; Beleuchtung und Beobachtung der Oberfläche erfolgen aus unterschiedlichen Richtungen. Das messende System arbeitet synchron mit der Unterbrechereinrichtung in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird während der gleichmäßigen Beleuchtung der Oberfläche ihr Reflexionsfaktor bestimmt. Im unmittelbar anschließenden zweiten Schritt wird während der strukturierten Beleuchtung der Oberfläche mit Hilfe des zuvor bestimmten Reflexionsfaktors aus dem gemessenen Helligkeitsverlauf die Position der Hell-Dunkel-Grenzen ermittelt; daraus wird die dreidimensionale Form der Oberfläche berechnet.

Die Erfindung wird an einem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 näher erläutert. Auf einem Glasträger 1 sind spiegelnde Gitterlinien 2 aufgedampft, die senkrecht zur Zeichenebene stehen. Der Glasträger wird unter 45° von vorn und von hinten durch zwei gleichartige Beleuchtungssysteme beleuchtet, die aus den Kondensoren 3, 4, 5 und 6, den Umlenkspiegeln 7 und 8 sowie der gemeinsamen Lichtquelle 9 bestehen. Das vom Kondensor 5 kommende, auf die Gitterlinien 2 fallende Licht wird in Richtung auf die Abbildungsoptik 10 gespiegelt; das vom Kondensor 6 kommende, zwischen die Gitterlinien fallende Licht tritt ohne Richtungsänderung durch den Glasträger 1 in die Abbildungsoptik 10 ein. Zwei Blenden 11 und 12 dienen zum Abgleich der Helligkeit beider Beleuchtungssysteme. Eine rotierende Sektorenblende 13 unterbricht den von hinten durch den Glasträger 1 hindurchtretenden Lichtstrom periodisch. Die fehlerarme Abbildungsoptik 10 bildet den Glasträger 1 mit den Gitterlinien 2 auf die Oberfläche des zu prüfenden Körpers 14 ab. Die Blenden 11 und 12 werden so eingestellt, daß das Bild der Gitterlinien 2 auf der Oberfläche des Körpers 14 verschwindet, wenn die Sektorenblende den vom Kondensor 6 kommenden Lichtstrom freigibt. Die Oberfläche des Körpers 14 mit dem Bild 15 der Gitterlinien 2 wird durch die fehlerarme Abbildungsoptik 16 auf eine Diodenzeile 17 mit den Einzeldioden 18 abgebildet; die Diodenzeile liegt in der Zeichenebene, d.h. senkrecht zu den Gitterlinien 2. Die Oberfläche des Körpers 14 ist in bekannter Weise so gegen den Glasträger 1 geneigt, daß die Abbildung durch die Optik 10 trotz der unterschiedlichen Gegenstandsweite in der vollen Bildbreite scharf bleibt. Dasselbe gilt für die Lage der Diodenzeile 17 zur Oberfläche des Körpers 14 bei der Abbildung durch die Optik 16.

Die prinzipielle Wirkungsweise des an sich bekannten Lichtschnittverfahrens ist in Figur 2 dargestellt; sie stellt einen vergrößerten Ausschnitt der Figur 1 dar. Die Oberfläche des Körpers 14 besitzt in diesem Beispiel eine fehlerhafte Erhöhung 19, die zu entdecken und deren Aus-

dhnung und Höhe zu messen sei. Die Richtung des einfallenden Lichts ist mit dem Pfeil 20, die Beobachtungsrichtung mit dem Pfeil 21 gekennzeichnet. Neben dem Körper 14 ist schematisch die Helligkeitsverteilung 22 dargestellt, die auf einer ebenen Oberfläche bei geschlossener Sektorblende 13 erwartet würde. Daneben ist die Helligkeitsverteilung 23 dargestellt, die bei Anwesenheit der fehlerhaften Erhöhung 19 gemessen wird. Die Position der Schwarz-Weiß-Übergänge der Helligkeitsverteilung 23, bezogen auf die bekannten Übergänge der Helligkeitsverteilung 22, erlauben bei genügend hoher Dichte der Gitterlinien einen Rückschluß auf die dreidimensionale Form der Oberfläche.

Eine Höhenänderung Δh bewirkt in der Ebene der Oberfläche des Körpers 14 einen Versatz Δx der Position eines Hell-Dunkel-Überganges um

$$\Delta x = \Delta h \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

Dieser Versatz ist für den Sensor 17 als eine senkrecht zur Beobachtungsrichtung 21 in der Ebene des Körpers 14 auftretende Auslenkung Δy beobachtbar. Aus Δy errechnet sich die gesuchte Höhenänderung Δh aus den jeweils gegen die fehlerfreie Ebene des Meßobjektes gemessenen bekannten Winkeln α für das einfallende Licht 20 und β für die Beobachtungsrichtung 21 zu

$$\Delta h = \Delta y \frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha + \beta)}.$$

Die Ermittlung der Position von Hell-Dunkel-Übergängen und damit des Versatzes Δx ist in der Praxis oft nur mit sehr eingeschränkter Genauigkeit möglich oder sogar unmöglich. Schwierigkeiten treten immer dann auf, wenn die zu vermessende Oberfläche in ihren Reflexionseigenschaften oder ihrer Höhe abrupte Schwankungen aufweist. Abrupte Änderungen

der Reflexionseigenschaften führen direkt zu Hell-Dunkel-Übergängen im beobachteten Signal; abrupte Höhenunterschiede bewirken Schlagschatten, die ebenfalls zu Hell-Dunkel-Übergängen führen. Bei der Signalauswertung ist nun oft nicht mehr zu entscheiden, ob ein Hell-Dunkel-Übergang wunschgemäß durch die Beleuchtung oder störenderweise durch Oberflächeneigenschaften hervorgerufen wurde.

In Fig. 3 sind durch Oberflächeneigenschaften gestörte Signale und deren erfindungsgemäße Verarbeitung schematisch dargestellt; in dem gewählten Beispiel ist der Einfachheit halber eine Oberfläche des Körpers 14 angenommen, die einen ungleichförmigen Reflexionsfaktor, jedoch keine Höhenunterschiede aufweist. Es wird weiterhin vorausgesetzt, daß die Diodenzeile 17 so viele Einzeldioden 18 je Längeneinheit besitzt, daß durch sie die örtliche Auflösung nicht unzulässig beeinträchtigt wird.

Kurve a stellt die auf die Oberfläche des Körpers 14 bei geöffneter Sektorenblende 13 einfallende Beleuchtungsfunktion dar; sie ist im Idealfall eine Konstante g_1 , da die von den Gitterlinien 2 reflektierte Intensität gleich der zwischen den Gitterlinien hindurchtretenden Intensität ist. Kurve b zeigt die Beleuchtungsfunktion bei geschlossener Sektorenblende 13. Die Kurve b ist (ebenso wie die Kurven c-e) auf den beobachtenden Sensor bezogen. Wegen der bandbegrenzten Modulationsübertragungsfunktionen der Objektive 10 und 16 und des Sensors 17 weisen die Hell-Dunkel-Übergänge eine endliche Steigung auf und die Intensität zwischen den Gitterlinien sinkt wegen der Spiegelwirkung des Glasträgers 1 auf einen Wert $g_0 > 0$ ab. In Kurve c ist der beispielhaft angenommene Verlauf des Reflexionsfaktors der Oberfläche dargestellt. Die beobachteten Helligkeitsverteilungen der Oberfläche des Körpers 14 ergeben sich durch Multiplikation der Beleuchtungsfunktionen a und b mit dem Reflexionsfaktor c. Die durchgezogene Kurve d zeigt die tatsächlich gemessene Helligkeitsverteilung bei geöffneter Sektorenblende 13; sie ist somit ein

Maß für den Reflexionsfaktor als Funktion der Ortskoordinate x . Die durchgezogene Kurve e stellt die tatsächlich gemessene Helligkeitsverteilung bei geschlossener Sektorenblende 13 dar; sie zeigt gegenüber der idealen Helligkeitsverteilung 22 in Figur 2 starke Störungen, die die Ermittlung der genauen Position der Schwarz-Weiß-Übergänge ohne besondere Maßnahmen stark beeinträchtigen.

Erfindungsgemäß wird die gemessene Helligkeitsverteilung der durchgezogenen Kurve d mit einem konstanten Faktor $(g_1 + g_0)/2g_1$ multipliziert, der einen Wert von ca. 0.5 hat und eine Apparatekonstante darstellt. Die dadurch entstehende Kurve ist in d und e gestrichelt eingezeichnet. Diese gestrichelte Kurve hat die Eigenschaft, die durchgezogene Kurve e an denjenigen Werten der Ortskoordinate x zu schneiden, die in der Mitte der ungestörten Schwarz-Weiß-Übergänge liegen. Diese Schnittpunkte sind an der x -Achse der Kurve e durch Pfeile angedeutet. Erfindungsgemäß wird deshalb eine Signalverarbeitung in der Weise durchgeführt, daß diejenigen Koordinatenwerte x ermittelt werden, bei denen die Helligkeitsverteilung bei geschlossener Sektorenblende gleiche Werte hat wie die mit dem Faktor $(g_1 + g_0)/2g_1$ multiplizierte Helligkeitsverteilung bei geöffneter Sektorenblende.

Mit der bisher beschriebenen, in Figur 1 dargestellten Einrichtung mit einer Diodenzeile 17 kann nur das Profil des Körpers 14 entlang der einen in der Zeichnungsebene liegenden Geraden bestimmt werden, die von der Optik 16 auf die Diodenzeile 17 abgebildet wird. Zur Erfassung des gesamten Oberflächenprofils wird der Körper 14 senkrecht zur Zeichnungsebene bewegt; dadurch werden nacheinander Profile senkrecht zur Bewegungsrichtung gemessen, die aneinander anschließen.

Bei schneller Bewegung des Körpers 14 erfolgen die Messungen bei geöffneter und geschlossener Sektorenblende nicht mehr, wie in Figur 3 vorausgesetzt, an der gleichen Stel-

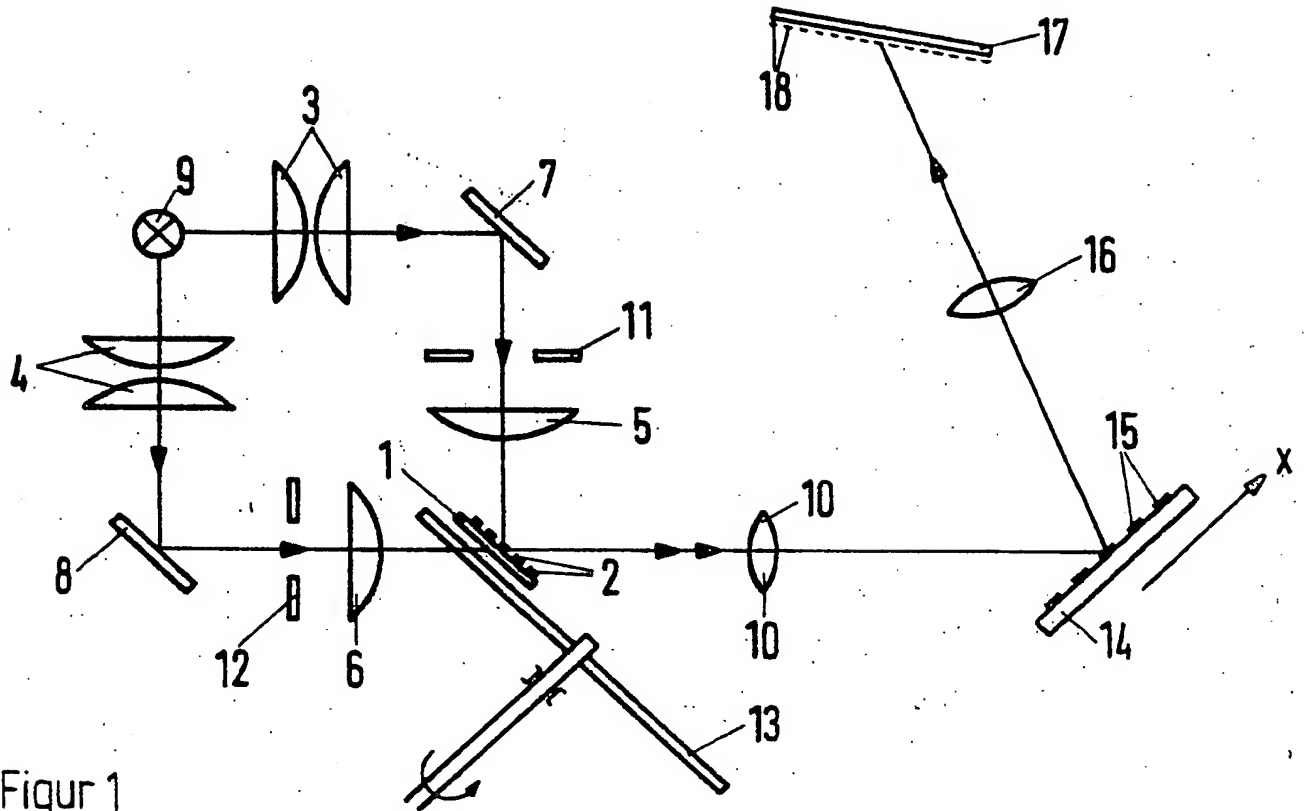
le; dadurch wird die Wirkung d s beschriebenen Bearbeitungsverfahrens beeinträchtigt. Erfindungsgemäß wird deshalb bei schnellen Bewegungen des Körpers 14 anstelle einer einzelnen gemessenen Kurve d der Mittelwert zweier aufeinanderfolgender Kurven d berechnet, die ^{aus} aufeinanderfolgenden Messungen mit geöffneter Sektorenblende 13^{Stamper} Der Mittelwert wird mit der Kurve e verglichen, die bei der zeitlich dazwischenliegenden Messung mit geschlossener Sektorenblende 13 gewonnen wurde. Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung des Bewegungseinflusses besteht darin, anstelle quadratischer Einzeldioden 18 rechteckige Dioden zu verwenden, die in ihrer Längsrichtung senkrecht zur Richtung der Diodenzeile 17, d.h. in Richtung der Bewegung des Körpers 15 liegen. Dadurch wird, unter berechenbarem Verzicht auf Ortsauflösung in Bewegungsrichtung, eine teilweise Überdeckung der Meßfelder für die aufeinanderfolgenden Messungen mit geöffneter und geschlossener Sektorenblende auch bei höheren Geschwindigkeiten erreicht. Die gleiche Wirkung hat die Verwendung einer Zylinderlinse in Verbindung mit der Optik 16.

Anstelle der Diodenzeile 17 kann auch ein zweidimensionaler Wandler, z.B. ein Diodenarray oder eine Fernsehkamera, eingesetzt werden. Damit ist es möglich, ein zweidimensionales Profil einer ruhenden Oberfläche zu messen. Die einzelnen Zeilen des zweidimensionalen Wandlers, die parallel zur gezeichneten Zeile 17 liegen, erfassen gleichzeitig nebeneinander liegende Profillinien auf der Oberfläche des Körpers 14.

Eine gleichwertige Variante der in Figur 3 dargestellten Signalverarbeitung besteht darin, daß zunächst die gemessene durchgezogene Kurve e durch die gemessene durchgezogene Kurve d dividiert wird und aus der dabei entstehenden neuen Kurve die Hell-Dunkel-Übergänge durch eine Schwellwertoperation mit der Schwelle $(g_1 + g_0)/2g_1$ gewonnen werden.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung besitzt der Glasträger 1, wie in Figur 4 dargestellt, eine spiegelnde Halbebene 24. Auf der Oberfläche des Körpers 14 ergibt sich bei der Abbildung durch die Optik 10 das Bild 25. Die Optik 16 bildet die so beleuchtete Oberfläche des Körpers 14 auf einen zweidimensionalen Wandler 26, z.B. ein Diodenarray oder eine Fernsehkamera ab, dessen lichtempfindliche Ebene senkrecht zur Zeichenebene steht. Zur Verdeutlichung sind der Glasträger 1 und der Wandler 26 auch in die Zeichenebene geklappt dargestellt. Mit dem Wandler 26 wird der Verlauf des Hell-Dunkel-Überganges gemessen; erfindungsgemäß wird wiederum zusätzlich das Reflexionsvermögen der Oberfläche bei geöffneter Sektorenblende 13 bestimmt und, analog zu der in Figur 3 dargestellten Vorgehensweise, der Einfluß von Schwankungen des Reflexionsvermögens unterdrückt. Auf diese Weise wird das Profil der Oberfläche des Körpers 14 entlang einer Geraden, die senkrecht zur Zeichenebene liegt, bestimmt. Vorteilhafterweise werden die Zeilen 27 des Wandlers 26 senkrecht zur Begrenzungslinie 28 der spiegelnden Halbebene 24 ausgerichtet. Zur Erfassung der gesamten Oberfläche des Körpers 14 wird dieser bewegt, und zwar in Richtung des Pfeiles 28 senkrecht zur Begrenzungslinie 28 der spiegelnden Halbebene 24. Dadurch werden zeitlich nacheinander aneinander anschließende Profile der Oberfläche gemessen. Diese Meßanordnung hat gegenüber der Messung mit einem Gitter nach Fig. 2 den Vorteil, daß die Identität der den Übergang verursachenden Kante klar ist. Die Anordnung eignet sich deshalb besonders für Meßobjekte mit größeren abrupten Höhenänderungen.

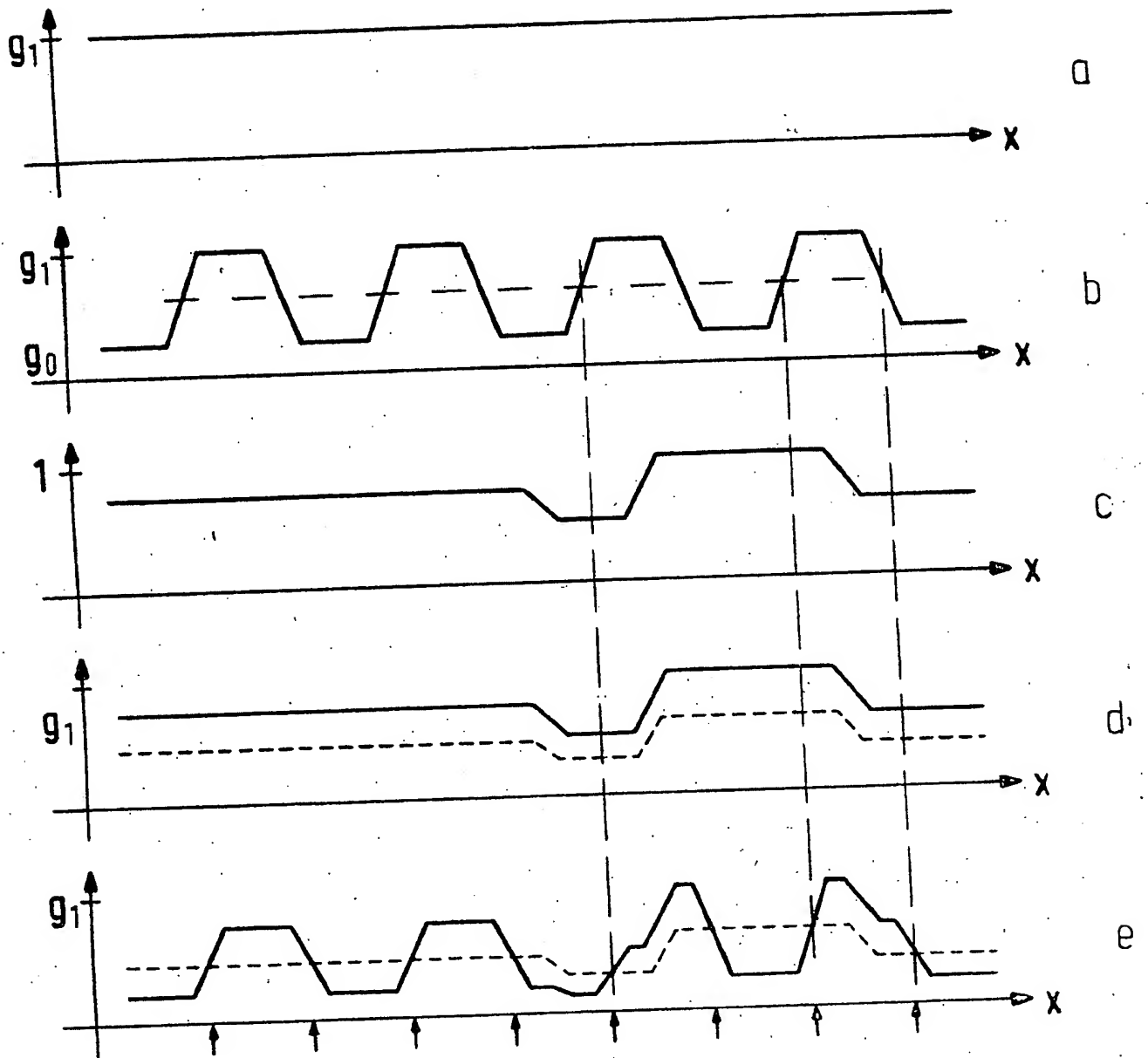
- 15 -
- Leerseite -



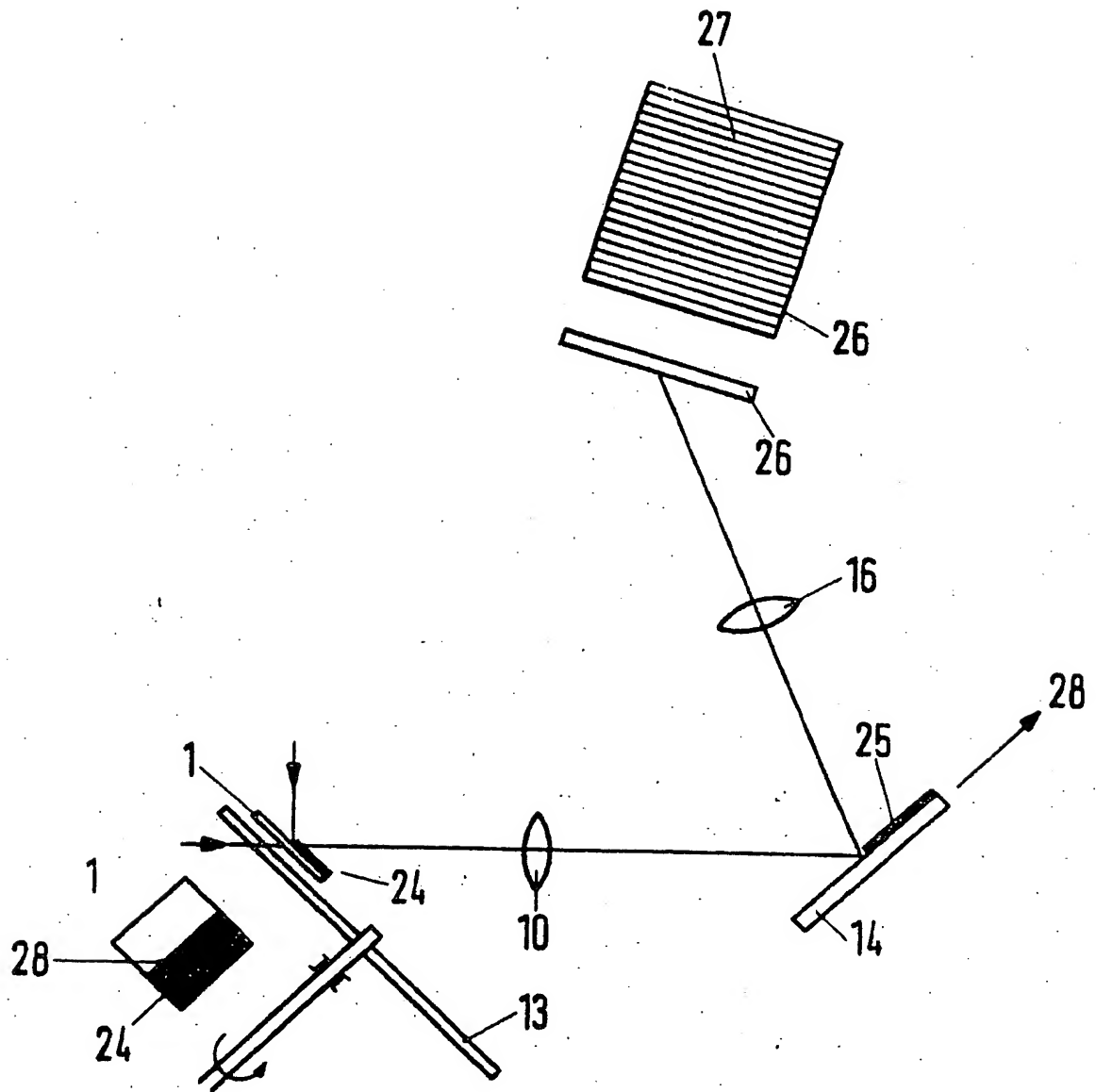
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4